

**В.А. Онопа, викл., М.М. Петренко, проф., канд. техн. наук,
Д.В. Богатирьов, канд. техн. наук, О.А. Кислун, доц., канд. техн. наук**
Кіровоградський національний технічний університет

Детермінована математична модель руху шкідника у повітряному потоці пневматичної насадки пневмодезинсектора

В статті розглянуто рух шкідника у повітряному потоці пневматичної насадки пневмодезинсектора. Наведено дослідження, які дозволяють теоретично визначити конструктивні параметри щілин пневматичних насадок з урахуванням особливостей руху шкідника. **пневмодезинсектор, пневматична насадка, шкідник, повітряний потік**

Вирішення задач по збільшенню виробництва продукції сільськогосподарства в нашій країні передбачає високі темпи розвитку сільськогосподарського машинобудування, розроблення і впровадження в виробництво системи машин для комплексної механізації робіт по виробництву сільськогосподарських культур. Причому, значне місце в загальній системі заходів, спрямованих на підвищення врожайності сільськогосподарських культур, займає боротьба із шкідниками.

Складна екологічна ситуація в Україні також потребує більш широкого застосування екологічно безпечних засобів захисту рослин. Необхідне виробництво продукції без залишків пестицидів особливо для дитячого та дієтичного харчування. І це в першу чергу стосується продукції, що споживається в сирому вигляді, а саме плодів та овочів.

Так, в Україні площа під картоплею становить 1530 тис. га, в тому числі в приватних сільськогосподарських господарствах 525 тис. га. В усьому світі визнані перспективними інтегровані системи захисту рослин, в основу яких покладено використання пневматичних машин для збирання шкідників без застосування пестицидів. Також доцільне використання пневматичних машин для збирання шкідників на пасльонових культурах (картоплі, томатах, баклажанах,) в господарствах України, особливо зонах підвищеної екологічної небезпеки. Існуючий парк сільськогосподарських пневматичних машин потребує удосконалення, спрямованого на зменшення енерговитрат і підвищення ефективності роботи.

На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету розроблено конструкцію і виготовлено дослідний зразок пневмодезинсектора, який показав свою ефективність збирання шкідників з плантацій пасльонових культур під час польових випробовувань [1, 2].

Мета даного дослідження полягає у теоретичному визначенні конструктивних параметрів щілин пневматичних насадок з урахуванням особливостей руху шкідника.

Виходячи з мети дослідження прийняті наступні припущення під час складання детермінованої математичної моделі, а саме:

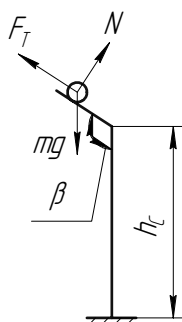
1. Стеблина картоплі абсолютно жорстка;
2. Під час наїзду насадки стеблина не згинається;
3. Шкідник має форму кулі;
4. Зусилля з яким шкідник утримується на стеблі замінено силою тертя;

5. Під час відриву шкідника від поверхні листя і руху до щілини насадки обертання самого шкідника навколо власної осі не враховується;

6. Пневмонасадка рухається з постійною швидкістю.

Для того, щоб більш точно описати траєкторію руху шкідника під час збирання його пневматичною насадкою розкладемо рух за станами.

Перший стан (рис. 1) – початкові умови, тобто, коли шкідник знаходиться у стані рівноваги без дії на нього пневматичної насадки. Другий стан (рис. 2) – коли на шкідника починає діяти зусилля (сила опору середовища) від пневматичної насадки. Третій стан (рис.3) – виведення шкідника зі стану рівноваги і відрив його від стебла. Четвертий стан (рис.4) – вільний політ шкідника до щілини пневмонасадки.



h_c – висота стебла до гілки де знаходиться жук.

Рисунок 1 - Початкові умови (до наїзду пневмонасадки)

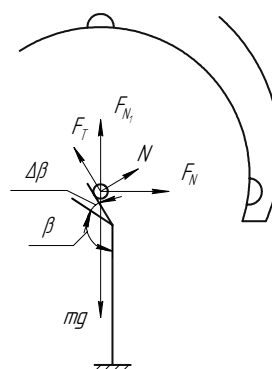


Рисунок 2 - Наїзд пневмонасадки і нахил стебла на кут $\beta + \Delta\beta$

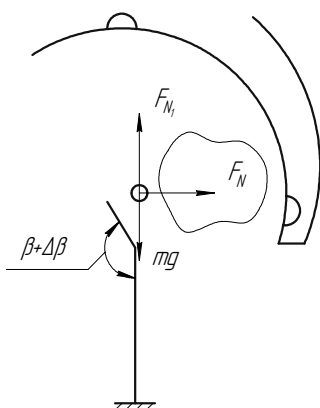


Рисунок 3 - Відрив шкідника від поверхні стебла

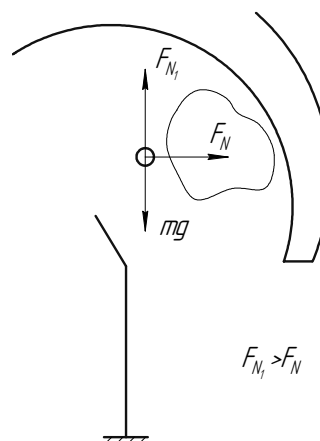


Рисунок 4 - Вільний політ шкідника до щілини пневмонасадки

Розглянемо рух шкідника у просторі в кожному з чотирьох етапів, причому початковими умовами для кожного наступного стану будуть значення з попереднього. Для першого стану прийнемо припущення про те, що стеблина знаходиться паралельно площині ZOY .

Рівняння рівноваги:

$$\sum F_z = 0; \quad N \cdot \cos(\pi - \beta) + F_T \cdot \sin(\pi - \beta) - mg = 0.$$

$$\sum F_y = 0; \quad N \cdot \sin(\pi - \beta) - F_T \cdot \cos(\pi - \beta) = 0.$$

$$\sum F_x = 0.$$

Під час наїзду пневмонасадки стан рівноваги порушується дією F_N .

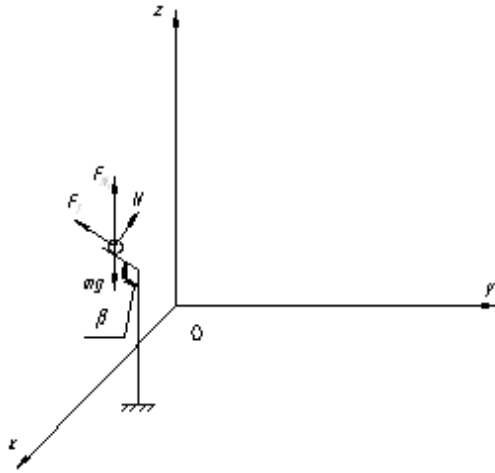


Рисунок 5 - Просторова модель до наїзду насадки

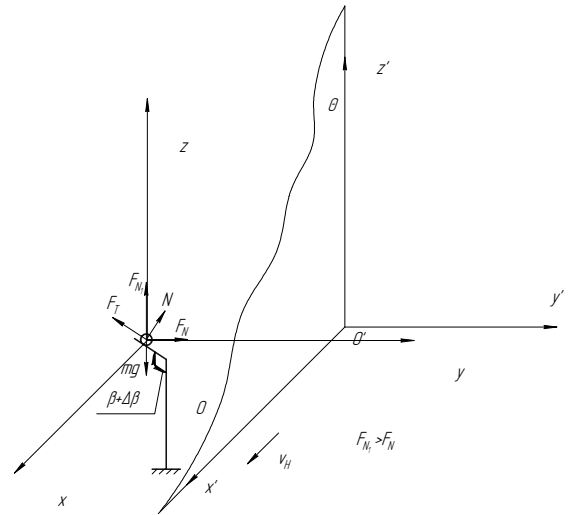


Рисунок 6 - Схема сил, що діють на шкідника під час наїзду пневмонасадки

Пневматична насадка рухається зі швидкістю V_H і наїжджає на стебло зі шкідником (рис.6). Представимо, що у площинах системи координат $ZOXY$ нерухомо стоїть стебло зі шкідником, а пневмонасадка представлена у вигляді площини Θ , що рухається зі швидкістю V_H . Причому під час проїзду пневмонасадка кут нахилу стеблини β збільшується на $\Delta\beta$.

Складемо рівняння рівноваги в кожній площині: встановимо рухому систему координат на пневмонасадку. Вважатимемо швидкості по осям рухомої системи координат відносними. Швидкість руху рухомої системи координат $Z'O'X'$ є переносною і дорівнює швидкості насадки V_H .

Спочатку визначимо умову відривання в системі координат $ZOXY$.

На площині ZOY : кут нахилу стебла $\beta' = \beta + \Delta\beta$.

$$\sum F_Z = 0; \quad N \cdot \cos(\pi - \beta') + F_T \cdot \sin(\pi - \beta') - mg + F_{N1} = 0.$$

$$\sum F_Y = 0; \quad N \cdot \sin(\pi - \beta') - F_T \cdot \cos(\pi - \beta') + F_N = 0.$$

На площині XOY :

$$\sum F_Y = 0; \quad N \cdot \sin(\pi - \beta') - F_T \cdot \cos(\pi - \beta') + F_N = 0.$$

$$\sum F_X = 0; \quad 0 = 0.$$

На площині ZOX :

$$\sum F_Z = 0; \quad N \cdot \cos(\pi - \beta') + F_T \cdot \sin(\pi - \beta') - mg + F_{N1} = 0.$$

$$\sum F_X = 0; \quad 0 = 0.$$

Визначаємо прискорення по осях:

по OZ

$$a_{OZ} = \frac{N \cdot \cos(\pi - \beta') + F_T \cdot \sin(\pi - \beta') - mg}{m}.$$

по OY

$$a_{OY} = \frac{N \cdot \sin(\pi - \beta') - F_T \cdot \cos(\pi - \beta') + F_N}{m}.$$

по OX $a_{OX} = 0$, оскільки пневмонасадка рухається зі сталою швидкістю V_H ($V_H = \text{const}$).

Умова відриву шкідника:

$$N \cdot \cos(\pi - \beta') - mg + F_{N_1} > F_T \cdot \sin(\pi - \beta');$$

$$N \cdot \sin(\pi - \beta') - mg + F_N > F_T \cdot \cos(\pi - \beta').$$

Траєкторія руху шкідника по осям OZ та OY :

$$S_{OY} = \frac{a_{OY} \cdot t_1^2}{2}; S_{OZ} = \frac{a_{OZ} \cdot t_1^2}{2}.$$

де t_1 – час, який потрібен на відрив шкідника від стебла.

Розглянемо вільний політ шкідника після відриву від стебла, схема сил показана на рис.3.

Рівняння сил по осям:

вісь OZ :

$$\sum F_Y = 0; \quad m \cdot a_Y = F_Y \Rightarrow a_Y = \frac{F_N}{m}.$$

вісь OY :

$$\sum F_Z = 0; \quad m \cdot a_Z = mg - F_{N_1} \Rightarrow a_Z = \frac{g - F_{N_1}}{m}.$$

Траєкторії польоту шкідника по осям:

по осі OZ :

$$S_Z = V_{OZ} \cdot t_1 + \frac{a_Z \cdot t^2}{2};$$

при умові, $F_{N_1} > F_N$, так як $V_1 > V$, бо $V_1 = \xi \cdot V$:

$$F_{N_1} = k \cdot \rho_C \cdot f \cdot V_1^2, \quad N = m \cdot g, \quad F_T = \mu \cdot m \cdot g,$$

ξ – коефіцієнт втрат повітря із-за тертя повітря о стінки насадки;

μ – коефіцієнт тертя;

f – міделевий перетин, m^2 ;

F_N, F_{N_1} – сила опору середовищу:

$$F_N = k \cdot \rho_C \cdot f \cdot V^2; \quad F_{N_1} = k \cdot \rho_C \cdot f \cdot V_1^2.$$

по осі OY :

$$S_Y = V_{OY} \cdot t_1 + \frac{a_Y \cdot t^2}{2}.$$

До складу сила опору середовищу входить абсолютна швидкість повітряного потоку V .

Повернемося до рухомої системи координат $Z'O'X'Y'$.

За час t насадка проходить відстань $S_x = v_H \cdot t$, тоді абсолютна швидкість повітряного потоку:

$$V = \sqrt{V_{\Pi}^2 + V_H^2 - 2 \cdot V_{\Pi} \cdot V_H \cdot \cos \alpha},$$

де V_{Π} – швидкість повітря біля щілини (швидкість всмоктування), м/с [2];

V_H – швидкість руху насадки, м/с;

α – кут між векторами \vec{V}_{Π} та \vec{V}_H

$$\alpha = \arctg \frac{S_Y}{S_X} = \frac{R}{V_H \cdot t};$$

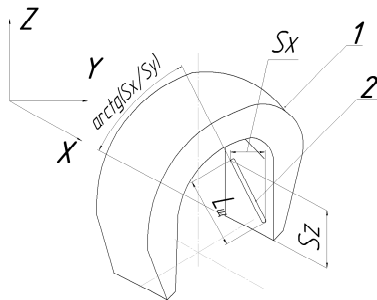
R – радіус від вертикальної осі симетрії до щілини, м;

t – час за який насадка проходить (обробляє) один кущ, $t = t_1 + \Delta t$, с.

Тоді абсолютна швидкість повітряного потоку розраховується за формулою:

$$V = \sqrt{V_{\Pi}^2 + V_H^2 - 2 \cdot V_{\Pi} \cdot V_H \cdot \cos \frac{R}{V_H \cdot t}}.$$

Отримані рівняння траєкторії руху шкідника по осям дозволяють визначити конструктивні параметри пневмонасадки.



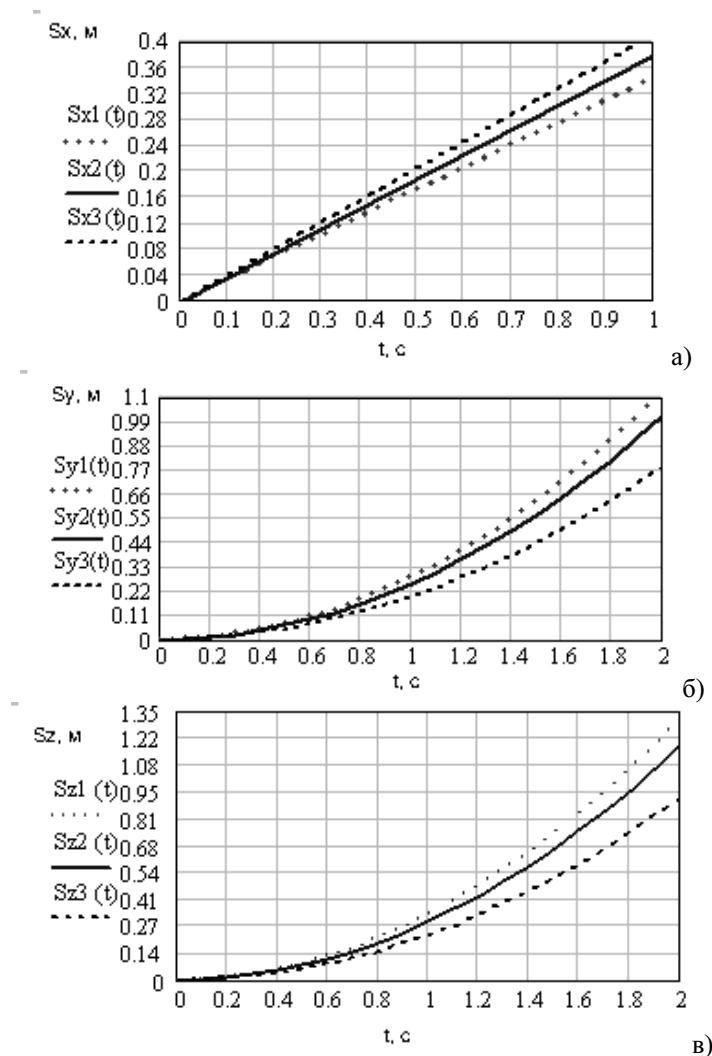
1 – пневмонасадка; 2 – щілина.

Рисунок 7 – Схема для визначення параметрів пневмонасадки

Враховуючи, що R стала величина, то згідно рис. 7:

- траєкторія руху шкідника по осі OZ S_z покаже верхню точку початку щілини;
- траєкторія руху шкідника по осі OY S_y покаже кут нахилу щілини;
- траєкторія руху шкідника по осі OX S_x покаже довжину щілини ($L_{щ} = S_x \cdot \cos(S_y/S_x)$).

Під час чисельного експерименту за допомогою пакету прикладних програм MathCAD отримали наступну графічну залежність (рис. 8).



а) – траєкторії руху шкідника по осі OX ; б) – траєкторії руху шкідника по осі OY ;
в) – траєкторії руху шкідника по осі OZ ; 1, 2, 3 – траєкторія руху шкідника по осям відповідно з масою 3, 6, 9 г.

Рисунок 8 - Траєкторії руху шкідника по осям

Задаючись максимальною та мінімальною масою шкідника можна визначити положення найвищої та найнижчої щілини. Ширина щілини залежить від параметрів шкідника і визначається за формулою:

$$t_{щ} = 2 \cdot \sqrt[3]{L \cdot B \cdot T},$$

де L – довжина шкідника (максимальний розмір);

B – ширина шкідника (середній розмір);

T – товщина шкідника (найменший розмір).

Проведені теоретичні дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. Отримані теоретичні залежності дозволяють визначити параметри щілини, а також її положення на площі пневмонасадки.

2. Визначені теоретичним шляхом параметри щілини, підтверджені експериментально і мають наступні значення:

- раціональне значення кута нахилу щілини заходиться в межах $42-45^0$;
- ширина щілини $t_{щ} = 8-10$ мм;
- довжина щілини, при швидкості руху пневмонасадки $V_H = 0,15-0,2$ м/с, в межах $L_{щ}=45-50$ мм

Список літератури

1. Онопа В.А. Оптимізація параметрів пневматичної насадки пневмодезинсектора на стендовій установці // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 31. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – С. 100-104.
2. Петренко М.М., Кириченко А.М., Онопа В.А. Теоретичне дослідження руху шкідників у повітряному потоці пневматичної насадки пневмодезинсектора // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 33. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – С. 249-254.

In the article the motion of wrecker is considered in the current of air of pneumatic attachment of pneumatic disinfectant. Researches which allow in a theory to define the structural parameters of cracks of pneumatic attachments taking into account the features of motion of wrecker are resulted.

В статье рассмотрено движение вредителя в воздушном потоке пневматической насадки пневмодезинсектора. Приведены исследования, которые позволяют теоретически определить конструктивные параметры щелей пневматических насадок с учетом особенностей движения вредителя.

Одержано 30.10.06